蒙脱石对采食霉变花生粕型饲粮肉仔鸡生长性能和免疫机能的影响

王　芳[1,2]　张海军[2]　王　晶[2]　史兆国[1*]　武书庚[2*]

（1.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070；2.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究蒙脱石对采食天然黄曲霉素毒素 B_1（AFB_1）污染花生粕饲粮的肉仔鸡生长性能和免疫机能的影响，确定蒙脱石作为霉菌吸附剂的饲用效果。选用 288 只 1 日龄爱拔益加（AA）健康公雏，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。正对照组饲喂玉米－豆粕型基础饲粮，负对照组饲粮用自然霉变花生粕（含 AFB_1 1 284.21 μg/kg；前期、后期饲粮分别添加 8.8%和 12.0%）替代部分豆粕，试验组分别在负对照组饲粮中添加 2.0 g/kg 的天然或改性蒙脱石。试验期 42 d。结果表明：1）与正对照组相比，霉变花生粕显著降低了肉仔鸡平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）、42 日龄胸肌率和腿肌率以及血浆蛋白含量（$P<0.05$），显著提高了料重比和免疫器官指数（$P<0.05$）。2）与负对照组相比，天然或改性蒙脱石均显著提高了肉仔鸡 ADG、ADFI 及血浆蛋白含量（$P<0.05$），显著降低了免疫器官指数（$P<0.05$）。3）与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石显著提高了肉仔鸡 ADG 及血浆总蛋白和白蛋白含量（$P<0.05$），显著降低了胸腺指数（$P<0.05$）。综上，AFB_1 污染的霉变花生粕能降低肉仔鸡的生长性能和免疫功能，蒙脱石能缓解 AFB_1 引起的不良影响，改性蒙脱石作用效果更佳。

关键词：蒙脱石；黄曲霉毒素 B_1；肉仔鸡；生长性能；免疫

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X(2016)00-0000-00

近年来，饲料原料被霉菌毒素污染的现象较为普遍，对养殖业的经济效益带来了巨大损失[1]。作为饼粕类饲料原料，花生粕含有蛋白质、维生素、矿物质（如磷、铁、钙）等营养素，蛋白质含量高（约 50％）、适口性好，但是氨基酸含量不平衡、黄曲霉毒素 B_1（aflatoxin B_1，AFB_1）污染严重影响了其在饲料中的大量使用[2]。AFB_1 的毒性较强，1993 年被世界卫生组织（WTO）列为一级致癌物质。AFB_1 具有强烈的肝毒性和致癌性，对家禽消化机能和免疫系统产生不良影响，导致免疫力、繁殖能力、饲料转化率降低、实质器官损伤、生长

收稿日期：2015－11－23

基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队项目（CARS-PSTP）

作者简介：王　芳（1990－），女，甘肃张掖人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: wangfang6419@163.com

*通信作者：史兆国，教授，硕士生导师，E-mail: shizhaoguo@gsau.edu.cn；武书庚，副研究员，硕士生导师，E-mail: wushugeng@caas.cn

受阻等，而肉仔鸡是敏感动物之一[3-5]。当前对霉菌毒素防控的措施主要有天然吸附和生物降解 2 种方法，其中天然吸附成本较低[6]。蒙脱石属于天然硅铝酸盐类，具有较大的比表面积和吸附力，对霉菌毒素有较好的吸附力；改性铝硅酸盐矿物的选择性吸附力更好、脱毒效果更好[7]。目前许多试验都是采用试剂级的霉菌毒素纯品作为试验材料，研究不同类型蒙脱石对霉菌毒素的吸附作用及其对家禽的影响，而以生产中普遍存在的自然霉变原料为材料的研究较少。因此，本试验以自然霉变的花生粕为 AFB_1 来源，研究天然和改性蒙脱石的吸附效果，评价其对肉仔鸡生长性能和免疫机能的影响。

1　材料与方法

1.1　试验材料

天然和改性蒙脱石产品均为市售产品，编号分别为 SDNZ 和 SDAD。经过 X 射线衍射(XRD)检测，2 种蒙脱石的理化性质如表 1 所示。

表 1　蒙脱石的理化性质

Table 1　Physical and chemical properties of montmorillonite

项目 Items	蒙脱石含量 Montmorillonite content/%	吸蓝量 Ethylene blue adsorbed/%	pH	层间距 Spacing of layers/nm
SDNZ	89.5	40.3	7.49	1.01
SDAD	91.0	43.9	9.37	1.51

AFB_1 源自霉变花生粕（含 AFB_1 1 284.21 μg/kg），正对照组、负对照组、天然和改性蒙脱石组前期、后期饲粮中 AFB_1 含量分别为 0.57、112.51、110.92 和 113.62 μg/kg，0.60、154.04、153.86 和 155.50 μg/kg。AFB_1 测定采用酶联免疫吸附法（ELISA）检测。我国《饲料卫生标准》（GB 13078—2001）规定，肉仔鸡饲粮中 AFB_1 含量前期≤10.0 μg/kg、后期≤20.0 μg/kg。

参照《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）配制玉米－豆粕型饲粮（表 2），冷压制粒，其中正对照组饲粮为玉米－豆粕型，负对照组和试验组饲粮用自然霉变的花生粕替代部分豆粕。

表 2　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age		22~42 日龄 22 to 42 days of age	
	对照组	试验组	对照组	试验组

	Control group	Experimental group	Control group	Experimental group
原料 Ingredients				
玉米 Corn	55.200	54.550	59.188	60.912
豆粕 Soybean meal	36.992	29.200	31.900	19.800
花生粕 Peanut meal		8.800		12.000
豆油 Soybean oil	3.705	3.050	5.150	3.100
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.955	1.965	1.698	1.715
石粉 Limestone	1.190	1.220	1.095	1.160
食盐 NaCl	0.350	0.350	0.350	0.350
DL－蛋氨酸 *DL*-Met	0.268	0.288	0.248	0.272
L－赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys•HCl	0.020	0.192	0.034	0.273
苏氨酸 Thr		0.065	0.017	0.098
维生素预混料 Vitamin premix1)	0.020	0.020	0.020	0.020
矿物质预混料 Mineral premix2)	0.200	0.200	0.200	0.200
氯化胆碱 Choline chloride	0.100	0.100	0.100	0.100
合计 Total	100.000	100.000	100.000	100.000
营养水平 Nutrient levels3)				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.56	12.56	13.19	13.19
粗蛋白质 CP	22.00	22.00	20.00	20.00
钙 Ca	1.00	1.00	0.90	0.90
总磷 TP	0.70	0.70	0.64	
有效磷 AP	0.45	0.45	0.40	0.40
赖氨酸 Lys	1.15	1.15	1.05	1.05
蛋氨酸 Met	0.62	0.63	0.50	0.51
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.91	0.91	0.76	0.76
苏氨酸 Thr	0.81	0.81	0.72	0.72
色氨酸 Try	0.24	0.24	0.21	0.21

1) 维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 12 500 IU，

VD_3 2 500 IU，VE 15 IU，VK_3 2.65 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_{12} 0.025 mg，生物素 biotin 0.35 mg，叶酸 folic acid 1.25 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12 mg，烟酸 niacin 50 mg。

[2)] 矿物质预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：Cu (as copper sulfate) 8 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，I (as potassium iodide) 0.35 mg，Se (as sodium selenite) 0.15 mg。

[3)] 营养水平均为计算值。Nutrition levels were all calculated values.

1.2　试验动物及试验设计

试验选用 288 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡健康公雏，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。鉴于生产中花生粕易被黄曲霉毒素污染的现状，寻找完全不含 AFB_1 的花生粕原料不易实现，本试验设计正对照组为玉米－豆粕型基础饲粮，负对照组饲粮用自然霉变的花生粕替代部分豆粕，前期、后期饲粮分别含花生粕 8.8%和 12.0%；2 个试验组饲粮为负对照组饲粮中分别添加 2.0 g/kg 的天然或改性蒙脱石。试验期 42 d。

1.3　饲养管理

肉鸡饲养在同一鸡舍内，采用 3 层笼养，24 h 光照，自由饮水、常规免疫，每天 2 次饲喂。

1.4　指标测定与方法

1.4.1　生长性能

分别于 1、21 和 42 日龄早晨空腹称重。前 1 天 22：00 禁食，自由饮水，于次日 08：00 以重复为单位称重，统计各重复试验鸡 1~21 日龄和 22~42 日龄耗料量，计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2　胴体组成

分别于 21 和 42 日龄，每重复选取 1 只体重接近该重复平均值的肉仔鸡，翅静脉采血，屠宰，分离胸肌和腿肌并称重，计算全净膛率、胸肌率、腿肌率和腹脂率。计算公式如下：

全净膛率（%）=全净膛重（kg）/活重（kg）×100；

胸肌率（%）=胸肌重（kg）/全净膛重（kg）×100；

腿肌率（%）=腿肌重（kg）/全净膛重（kg）×100；

腹脂率（%）=腹脂重（kg）/[全净膛重（kg）+腹脂重（kg）]×100。

1.4.3　器官指数

分别于 21 和 42 日龄，每重复选取 1 只体重接近该重复平均值的肉仔鸡，屠宰，摘取胸腺、脾脏和法氏囊，称重并计算各器官指数。计算公式如下：

器官指数（%）=器官重量（g）/活体重（kg）×100。

1.4.4　血液生化指标

分别于 21 和 42 日龄，每重复选取 1 只体重接近该重复平均值的肉仔鸡，翅静脉采血，抗凝管存放，3 000 r/min 离心 10 min，取上清液分装，－20 ℃保存。血浆总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）和球蛋白（GLB）含量采用全自动生化分析仪测定，试剂盒购自上海科华生物工程股份有限公司。

1.5　数据统计分析

数据经 Excel 前处理后，采用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析（one-way ANOVA），用 Duncan 氏法进行多重比较，以 P<0.05 为差异显著水平，结果以平均值±标准差表示。

2　结果与分析

2.1　生长性能

由表 2 可知，1~21 日龄：与正对照组相比，霉变花生粕显著降低了肉仔鸡体重、ADG 和 ADFI（P<0.05），负对照组和天然蒙脱石组 F/G 显著提高（P<0.05）；与负对照组相比，饲粮中添加蒙脱石使得肉仔鸡体重显著提高（P<0.05），改性蒙脱石组 ADG 显著提高（P<0.05），F/G 呈降低趋势，其中改性蒙脱石组 F/G 显著降低（P<0.05）；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组 ADG 显著提高（P<0.05），其他指标差异不显著（P>0.05）。

22~42 日龄：与正对照组相比，负对照组肉仔鸡体重、ADG 和 ADFI 均显著降低（P<0.05），F/G 显著提高（P<0.05）；与负对照组相比，天然和改性蒙脱石组体重、ADG 和 ADFI 均显著提高（P<0.05），改性蒙脱石组 F/G 显著降低(P<0.05)；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组 ADG 显著提高（P<0.05），F/G 显著降低（P<0.05）。

1~42 日龄：与正对照组相比，霉变花生粕显著降低了肉仔鸡 ADG 和 ADFI（P<0.05），使 F/G 显著升高（P<0.05）；与负对照组相比，天然和改性蒙脱石组 ADG 和 ADFI 均显著提高（P<0.05），F/G 显著降低（P<0.05）；改性蒙脱石组与天然蒙脱石组相比，各指标无显著差异（P>0.05）。

表 2　肉仔鸡生长性能

Table 2　Growth performance of broilers

项目 Items	正对照组 Positive control group	负对照组 Negative control group	天然蒙脱石组 Montmorillonite group	改性蒙脱石组 Modified montmorillonite group
1~21 日龄 1 to 21 days of age				
体重 BW/g	851.67±24.87[a]	750.44±27.12[c]	810.00±28.03[b]	829.93±16.88[ab]
平均日增重 ADG/g	38.28±2.73[a]	34.04±2.86[b]	35.68±2.22[b]	37.96±1.01[a]
平均日采食量 ADFI/g	53.44±1.55[a]	49.77±1.29[b]	50.73±1.53[b]	51.46±1.47[b]
料重比 F/G	1.32±0.06[c]	1.47±0.09[a]	1.43±0.05[ab]	1.37±0.08[b]
22~42 日龄 22 to 42 days of age				
体重 BW/g	2 576.29±50.73[a]	2 433.92±81.98[b]	2 523.67±74.57[a]	2 537.56±84.81[a]
平均日增重 ADG/g	106.17±1.37[a]	96.95±1.70[c]	101.64±1.45[b]	104.27±1.69[a]
平均日采食量 ADFI/g	184.20±2.55[a]	177.74±2.93[b]	181.79±2.29[a]	182.83±2.92[a]
料重比 F/G	1.81±0.02[b]	1.85±0.01[a]	1.84±0.01[a]	1.82±0.02[b]
1~42 日龄 1 to 42 days of age				
平均日增重 ADG/g	62.36±1.93[a]	57.20±1.73[c]	59.04±1.87[b]	61.12±1.81[ab]
平均日采食量 ADFI/g	103.58±1.27[a]	97.06±1.27[c]	101.15±1.72[b]	103.09±1.65[ab]
料重比 F/G	1.65±0.02[c]	1.72±0.02[a]	1.69±0.02[b]	1.68±0.02[b]

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P＞0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05). The same as below.

2.2 胴体组成

由表 3 可知，各组肉仔鸡 21 日龄胴体组成无显著差异（P>0.05）。42 日龄，与正对照组相比，霉变花生粕显著降低了肉仔鸡的胸肌率和腿肌率（P<0.05），对全净膛率和腹脂率无显著影响（P>0.05）；与负对照组相比，天然和改性蒙脱石组的胸肌率和腿肌率显著提高（P<0.05）；2 种蒙脱石组之间各指标无显著差异（P>0.05）。

表 3 肉仔鸡胴体组成

Table 3 Carcass composition of broilers %

项目 Items	正对照组	负对照组	天然蒙脱石组	改性蒙脱石组

	Positive control group	Negative control group	Montmorillonite group	Modified montmorillonite group
21 日龄 21 days of age				
全净膛率 Dressing percentage	70.78±1.38	67.59±1.64	68.52±1.46	69.62±2.78
胸肌率 Breast muscle percentage	24.44±0.66	23.80±0.81	24.01±1.15	24.33±0.64
腿肌率 Leg muscle percentage	12.77±0.73	12.11±0.46	12.54±0.38	12.43±0.76
腹脂率 Abdominal fat percentage	0.81±0.08	0.70±0.07	0.77±0.06	0.78±0.07
42 日龄 42 days of age				
全净膛率 Dressing percentage	72.06±1.64	70.77±1.69	71.50±1.01	71.90±0.92
胸肌率 Breast muscle percentage	28.18±1.35[a]	18.87±1.64[b]	26.43±3.04[a]	28.06±1.11[a]
腿肌率 Leg muscle percentage	21.57±0.64[a]	16.09±0.54[c]	20.27±0.95[b]	20.77±1.24[ab]
腹脂率 Abdominal fat percentage	1.89±0.05	1.85±0.09	1.78±0.09	1.71±0.06

2.3　免疫器官指数

由表 4 可知，21 日龄，与正对照组相比，霉变花生粕显著提高了肉仔鸡的胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数（P<0.05）；与负对照组相比，天然和改性蒙脱石组胸腺指数和法氏囊指数显著降低（P<0.05），改性蒙脱石组脾脏指数显著降低（P<0.05）；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组胸腺指数显著降低（P<0.05），脾脏指数和法氏囊指数无显著差异（P>0.05）。

42 日龄，与正对照组相比，负对照组肉仔鸡的胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数显著提高（P<0.05）；与负对照组相比，天然和改性蒙脱石组胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数均显著降低（P<0.05）；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组的胸腺指数和脾脏指数显著降低（P<0.05），法氏囊指数无显著差异（P>0.05）。

表 4　肉仔鸡免疫器官指数

Table 4　Immune organ indices of broilers　　%

项目 Items	正对照组 Positive control group	负对照组 Negative control group	天然蒙脱石组 Montmorillonite group	改性蒙脱石组 Modified montmorillonite group
21 日龄 21 days of age				
胸腺指数 Thymus index	1.40±0.07[d]	2.37±0.04[a]	2.21±0.05[b]	1.75±0.01[c]

脾脏指数 Spleen index	0.58±0.04^{c}	0.71±0.03^{a}	0.66±0.08^{ab}	0.62±0.03^{bc}
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	1.07±0.08^{b}	1.30±0.07^{a}	1.13±0.06^{b}	1.15±0.04^{b}
42 日龄 42 days of age				
胸腺指数 Thymus index	0.94±0.14^{d}	2.87±0.13^{a}	1.71±0.22^{b}	1.45±0.23^{c}
脾脏指数 Spleen index	1.64±0.04^{c}	1.88±0.07^{a}	1.74±0.05^{b}	1.68±0.06^{c}
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	0.58±0.01^{c}	0.85±0.04^{a}	0.69±0.06^{b}	0.66±0.08^{b}

2.4 血浆蛋白含量

由表 5 可知，21 日龄，负对照组肉仔鸡血浆 TP、ALB 和 GLB 含量显著低于其他各组（P<0.05）；与负对照组相比，天然蒙脱石组血浆 ALB 和 GLB 含量显著升高（P<0.05），TP 含量无显著差异（P>0.05），改性蒙脱石组血浆 TP、ALB 和 GLB 含量显著升高（P<0.05）；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组血浆 TP 和 ALB 含量显著提高（P<0.05），GLB 含量无显著差异（P>0.05）。

42 日龄，与正对照组相比，霉变花生粕显著降低了肉仔鸡血浆 TP、ALB 和 GLB 含量（P<0.05）；与负对照组相比，天然蒙脱石组血浆 TP 和 ALB 含量显著升高（P<0.05），GLB 含量无显著差异（P>0.05），改性蒙脱石组血浆 TP、ALB 和 GLB 含量显著升高（P<0.05）；与天然蒙脱石组相比，改性蒙脱石组血浆 TP 和 ALB 含量显著提高（P<0.05），GLB 含量无显著差异（P>0.05）。

表 5 肉仔鸡血浆蛋白含量

Table 5 Plasma protein contents of broilers mg/mL

项目 Items	正对照组 Positive control group	负对照组 Negative control group	天然蒙脱石组 Montmorillonite group	改性蒙脱石组 Modified montmorillonite group
21 日龄 21 days of age				
总蛋白 TP	30.79±1.48^{a}	27.13±1.12^{b}	28.65±1.31^{b}	30.42±2.07^{a}
白蛋白 ALB	15.76±0.44^{a}	13.32±0.70^{c}	14.30±0.48^{b}	15.31±0.44^{a}
球蛋白 GLB	15.37±0.32^{a}	13.64±0.45^{c}	14.37±0.23^{b}	14.83±0.32^{b}
42 日龄 42 days of age				
总蛋白 TP	41.66±0.84^{a}	37.16±0.86^{d}	38.57±0.50^{c}	39.98±0.55^{b}
白蛋白 ALB	19.49±0.73^{a}	14.97±0.80^{d}	16.35±0.43^{c}	17.36±0.60^{b}

球蛋白 GLB	23.74±0.74[a]	20.87±0.76[c]	22.22±0.64[b]	21.68±0.70[bc]

3 讨 论

3.1 霉变花生粕对肉仔鸡生长性能的影响

霉变花生粕能够降低家禽的采食量、日增重和饲料转化率。100 μg/kg AFB_1 可使黄羽肉鸡 ADG 降低 5.09%，F/G 升高 4.42%，ADFI 下降 0.85%[8]；100.0 和 150.0 μg/kg AFB_1 可降低体重，极显著降低 ADG 和 ADFI，提高 F/G[9]；用霉变稻米（含 AFB_1）饲喂，肉鸭 ADG 和 ADFI 显著降低，F/G 显著提高[10]；自然霉变玉米能显著降低肉鸭体重、ADG 和 ADFI，提高 F/G，增加死亡率[11]。本试验用霉变花生粕替代豆粕，肉仔鸡 ADG 和 ADFI 显著降低、F/G 显著提高，与上述研究结果一致。可见，自然霉变的原料与添加 AFB_1 均能影响肉仔鸡生长性能。因为霉菌毒素之间有协同效应，一般认为，自然霉变饲料的中毒症状比添加单一毒素的毒性效应更大[12]。

3.2 霉变花生粕对肉仔鸡免疫指标的影响

免疫器官指数是评价家禽免疫力的重要指标。本研究表明，霉变花生粕对肉仔鸡免疫功能的影响，体现为胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数增大。何健等[13]报道，分别用 0、50%和 100%的霉变玉米替代正常玉米，随着替代比例的增加，肉鸭 14 和 35 日龄脾脏指数和法氏囊指数显著提高。用 8%的霉变棉籽粕替代正常的棉籽粕，肉鸭 35 日龄胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数显著提高[14]。

本研究表明，霉变花生粕降低了肉鸡血浆中 TP、ALB 和 GLB 的含量。AFB_1 污染的饲粮同样能使肉鸭血清蛋白（TP、ALB 和 GLB）含量显著降低[15]；霉变玉米显著降低 14 和 35 日龄肉鸭血清 TP、ALB 和 GLB 含量[16]；2 500 μg/kg 黄曲霉毒素（含 83.06%AFB_1）可显著减少肉仔鸡血清 TP 和 ALB 含量[17]。家禽采食受 AFB_1 污染的饲粮，脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数升高，血浆蛋白（TP、ALB 和 GLB）含量降低，这可能是 AFB_1 使肉仔鸡胸腺、脾脏和法氏囊等免疫器官受损伤，导致机体免疫球蛋白合成降低；也可能是黄曲霉毒素与核酸结合，抑制了蛋白质的合成，从而引起肉仔鸡免疫器官发育不完全，抑制机体免疫因子的产生，最终影响了家禽的免疫功能。

3.3 蒙脱石对 AFB_1 毒性的缓解作用

用蒙脱石来降低黄曲霉毒素给家禽养殖带来的危害在生产中已得到应用。蒙脱石是一种硅铝酸盐类，因具有不饱和负电荷及阳离子交换能力，可以捕获、吸附和固定毒素，降低肠道对毒素的吸收，降低毒害作用[18]。在被 AFB_1 污染的饲粮中添加 3.0 g/kg 的钠基改性

蒙脱石，能显著缓解黄曲霉毒素对肉仔鸡生长性能、免疫器官指数以及血清生化指标的影响[19]；在被黄曲霉毒素污染的饲粮中添加 5.0 g/kg 的蒙脱石，可使肉仔鸡的死亡率降低37.5%、体增重提高28.8%[20]；在霉变的饲粮中添加2.0 g/kg的蒙脱石，显著提高了肉鸭ADG、ADFI 及血浆蛋白含量，显著抑制免疫器官指数的升高[14]；在被 3 000 μg/kg AFB_1 污染的饲粮中分别添加 2.5 和 5.0 g/kg 钙基蒙脱石，肉仔鸡 42 日龄体重分别增加了 13.3%和 22.7%、ADFI 增加了 9.7%和 24.7%、饲料转化率提高了 53.0%和 66.5%[21]；在被 2 500 μg/kg AFB_1 污染的饲粮中添加膨润土，能缓解由 AFB_1 对肉仔鸡生长性能和血浆 ALB 的负面影响[17]。本研究表明，2.0 g/kg 的天然或改性蒙脱石均可有效缓解饲量中霉变花生粕对肉仔鸡造成的生长抑制和免疫器官肿大现象，该结果与前人的研究相一致。

蒙脱石边面中的 Si-OH 和 Al-OH 作为氢键供氢体，AFB_1 分子结构中的 2 个羰基作为氢键受氢体，两者在空间上可能存在互补关系，因而可以形成双氢键，使蒙脱石能对 AFB_1 产生选择性吸附。有研究认为，天然和改性蒙脱石对 AFB_1 的吸附量无明显的差别，但是由于蒙脱石经改性处理后，部分改性剂分子带正电荷的一端可吸附在蒙脱石外表面或进入蒙脱石层间，羟基端留在蒙脱石边缘，增加了蒙脱石边缘氢键供氢体，增加了它们之间形成双氢键机会，加固了 AFB_1 的吸附稳定性，使得 AFB_1 解析率降低[22-23]。在雄性肉仔鸡饲粮中分别添加 1.5 g/kg 蒙脱石和载铜蒙脱石，发现添加载铜蒙脱石能够增加肉仔鸡的 ADG，降低肠道大肠杆菌的数量，而单独添加天然蒙脱石则效果不明显[24]；还有研究表明，改性蒙脱石对玉米赤霉烯酮的吸附率达到 92.44%、解吸率 5.31%，说明改性蒙脱石对玉米赤霉烯酮具有较高的吸附脱毒率，吸附玉米赤霉烯酮后所形成的复合物稳定性较好[25]。本研究表明，2.0 g/kg 的天然和改性蒙脱石，都可有效缓解霉变花生粕对肉仔鸡生长性能和免疫指标的影响，且改性蒙脱石的效果优于天然蒙脱石。

4 结 论

霉变花生粕显著降低了肉仔鸡生长性能和免疫功能，添加蒙脱石可有效缓解 AFB_1 对肉仔鸡的不利影响，而且改性蒙脱石对 AFB_1 的吸附效果要优于天然蒙脱石。

参考文献：

[1] 龚阿琼,罗金玲,胡骏鹏.2014 年我国饲料原料中霉菌毒素含量的测定与分析[J].中国饲料,2015(7):40–41.

[2] 程传民,柏凡,李云,等.2013 年饼粕类饲料原料中霉菌毒素污染情况调查[J].饲料研究,2015(4):1–7,11.

[3] CHENG Y H,SHEN T F,PANG V F,et al.Effects of aflatoxin and carotenoids on growth performance and immune response in mule ducklings[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part C:Toxicology & Pharmacology,2001,128(1):19–26.

[4] ZAGHINI A,MARTELLI G,RONCADA P,et al.Mannanoligosaccharides and aflatoxin B_1 in feed for laying hens:effects on egg quality,aflatoxins B_1 and M_1 residues in eggs,and aflatoxin B_1 levels in liver[J].Poultry Science,2005,84(6):825–832.

[5] 熊慧慧,肖长峰,卢永红,等.饲料中黄曲霉毒素 B_1 对家禽的影响[J].国外畜牧学:猪与禽,2015(2):59–61.

[6] 徐雪梅,齐德生,张妮娅,等.葡甘露聚糖单方、复配膨润土及改性产物的霉菌毒素体外吸附效果[J].动物营养学报,2013,25(12):2973–2980.

[7] 齐德生,刘凡,于炎湖,等.改性蒙脱石对黄曲霉毒素 B_1 吸附机理的研究[J].华中农业大学学报,2005,23(5):538–542.

[8] 尹逊慧,陈善林,曹红,等.日粮添加黄曲霉毒素解毒酶制剂对黄羽肉鸡生产性能、血清生化指标和毒素残留的影响[J].中国家禽,2010,33(2):29–33.

[9] 吕武兴,贺建华,宋洪国,等.黄曲霉毒素 B_1 对肉鸭生长、肝组织结构及免疫相关基因表达的影响[J].动物营养学报,2013,25(4):812–818.

[10] HAN X Y,HUANG Q C,LI W F,et al.Changes in growth performance,digestive enzyme activities and nutrient digestibility of cherry valley ducks in response to aflatoxin B_1 levels[J].Livestock Science,2008,119(1/2/3):216–220.

[11] 温子瑜,郑萍,张克英,等.黄曲霉毒素污染的玉米及吸附剂对樱桃谷肉鸭生产性能、血清生化指标及器官指数的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(3):49–55.

[12] SWAMY H V L N,SMITH T K,MACDONALD E J,et al.Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on swine performance,brain regional neurochemistry,and serum chemistry and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent[J].Journal of Animal Science,2002,80(12):3257–3267.

[13] 何健,张克英,陈代文,等.自然霉变玉米对肉鸭生产性能及免疫功能的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(19):25–30.

[14] 谢庆,孙满吉,常文环,等.黄曲霉毒素与吸附剂对肉鸭生长性能和免疫指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(1):204–211.

[15] WAN X L,YANG Z B,YANG W R,et al.Toxicity of increasing aflatoxin B_1 concentrations from contaminated corn with or without clay adsorbent supplementation in ducklings[J].Poultry Science,2013,92(5):1244–1253.

[16] 何健.自然霉变玉米对肉鸭生产性能和免疫功能的影响及机制研究[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2011.

[17] KEÇECI T,OĞUZ H,KURTOĞLU V,et al.Effects of polyvinylpolypyrrolidone,synthetic zeolite and bentonite on serum biochemical and haematological characters of broiler chickens during aflatoxicosis[J].British Poultry Science,1998,39(3):452–458.

[18] TENORIO A M G,MULDER I,BARRIENTOS VZ A L,et al.Smectite clay adsorption of aflatoxin vs. octahedral composition as indicated by FTIR[J].Clays and Clay Minerals,2008,56(5):571–578.

[19] SHI Y H,XU Z R,FENG J L,et al.Efficacy of modified montmorillonite nanocomposite to reduce the toxicity of aflatoxin in broiler chicks[J].Animal Feed Science and Technology,2006,129(1/2):138–148.

[20] BAILEY C A,LATIMER G W,BARR A C,et al.Efficacy of montmorillonite clay (NovaSil PLUS) for protecting full-term broilers from aflatoxicosis[J].The Journal of Applied Poultry Research,2006,15(2):198–206.

[21] ECKHARDT J C,SANTURIO J M,ZANETTE R A,et al.Efficacy of a Brazilian calcium montmorillonite against toxic effects of dietary aflatoxins on broilers reared to market weight[J].British Poultry Science,2014,55(2):215–220.

[22] 齐德生.蒙脱石改性前后对 AFB_1 和营养成分的吸附及对 AFB_1 的脱毒效果[D].博士学位论文.武汉:华中农业大学,2004.

[23] 齐德生,刘凡,于炎湖,等.蒙脱石及改性蒙脱石对黄曲霉毒素 B_1 的吸附研究[J].畜牧兽医学报,2003,34(6):620–622.

[24] XIA M S,HU C H,XU Z R.Effects of copper-bearing montmorillonite on growth performance,digestive enzyme activities,and intestinal microflora and morphology of male broilers[J].Poultry Science,2004,83(11):1868–1875.

[25] 姚志成,叶盛群,许家亮,等.改性蒙脱石对霉菌毒素体外吸附脱毒效果试验[J].山东畜牧兽医,2012(9):19–20.

Montmorillonite Affected Growth Performance and Immune Function of Broilers Fed Diets Containing Mouldy Peanut Meal

WANG Fang[1,2] ZHANG Haijun[2] WANG Jing[2] SHI Zhaoguo[1*] WU Shugeng[2*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *National Engineering Research Center of Biological Feed*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of montmorillonite on growth performance and immune function of broilers fed diets containing peanut meal naturally polluted with aflatoxin B_1 (AFB_1), with an aim to determine the feeding results of montmorillonite as an adsorbent. A total of 288 one-day-old Arbor Acre (AA) male broiler chicks were randomly divided into 4 groups with 6 replicates containing 12 birds each. The four diets formulated included a corn-soybean meal basal diet (positive control group), a negative diet with naturally mouldy peanut meal (AFB_1 content was 1 284.21 μg/kg, with 8.8% and 12.0% for starter and grower period) to replace part of soybean meal (negative control group), and two contaminated diets supplemented with 2.0 g/kg natural or modified montmorillonite based on the negative diet. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with the positive control group, AFB_1 contaminated peanut meal diet significantly decreased average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), percentage of breast muscle and leg muscle of broilers at 42 days of age, and plasma protein contents (P<0.05), while significantly increased the ratio of feed to gain and immune organ indices of broilers (P<0.05). 2) Compared with the negative control group, the natural or modified montmorillonite significantly increased ADG, ADFI and plasma protein contents (P<0.05), and significantly inhibited immune organ indices of broilers (P<0.05); 3) Compared with the natural montmorillonite group, the modified montmorillonite significantly increased ADG and contents of total protein and albumin in plasma (P<0.05), and significantly decreased thymus index of broilers (P<0.05). In conclusion, AFB_1 contaminated peanut meal decreases the growth performance and immune functions of broilers, and dietary supplementation of natural or modified montmorillonite can ameliorate the negative effects of AFB_1, and the modified montmorillonite gets the better effects.

Key words: montmorillonite; aflatoxin B_1; broilers; growth performance; immune

---

*Corresponding authors: SHI Zhaoguo, professor, E-mail: shizhaoguo@gsau.edu.cn; WU Shugeng, associate professor, E-mail: wushugeng@caas.cn (责任编辑　田艳明)